

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРУНДОВОЙ И МУЛЛИТО-КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

Ван Дакунь, Ван Ифань, С.В. Матренин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Матренин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: msv@tpu.ru

Введение

Оксид алюминия является одним из перспективных керамических материалов для широкого спектра конструкционных и трибологических применений благодаря сочетанию высокой твердости, термостойкости, химической инертности, с одной стороны, и доступности – с другой [1]. Керамики на основе Al_2O_3 , полученные с использованием традиционных технологий порошковой металлургии, во многих случаях имеют неоднородную крупнозернистую структуру. Это приводит к низким значениям твердости и трещиностойкости, высокой чувствительности к абразивному износу, ограничивающей применение данных керамик в качестве материалов пар трения, работающих при повышенных нагрузках [2, 3].

В связи с этим встает задача повышения эксплуатационных характеристик керамик за счет создания композиционной структуры путем добавления в порошок Al_2O_3 порошков керамик с более высокими прочностными характеристиками (SiO_2 , TiO_2 , MgO) и оптимизации режимов компактирования, обеспечивающих получение плотной, однородной и мелкозернистой структуры [4].

Эксперимент

Основной кристаллической фазой муллитовой и муллито-корундовой керамики являются муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и корунд $\alpha-Al_2O_3$. Эти керамические материалы называют высокоглиноземистой керамикой. Добавочное количество оксида алюминия вводят обычно с глиноземом или электрокорундом. Таким образом, высокоглиноземистая керамика включает составы с содержанием Al_2O_3 от 45 до 100%.

Отжиг смесей при $1450^\circ C$ проводили при в электрической печи сопротивления в воздушной атмосфере, для получения $\alpha-Al_2O_3$. С целью получения порошковых шихт заданных составов, улучшения технологических их характеристик и повышения активности отожженные порошки и добавки обрабатывали в энергонапряженной планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL» в течение 20 минут при частоте вращения размольных сосудов 20 Гц.

Пластифицированные порошки формовали методом одноосного прессования в стальной пресс-форме, давление прессования составляло 300 МПа. Полученные прессовки представляли собой цилиндры диаметром $25 \pm 0,01$ мм и высотой $5 \pm 0,01$ мм. Спекание прессовок проводили в высокотемпературной печи сопротивления при температуре $1700^\circ C$.

Индентирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G200. В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577.

С помощью прибора Nano Indenter G 200 определяли модуль упругости E_{IT} , твердость H_{IT} и прочность σ_b спеченной керамики по методике «Scratch Testing». Суть метода заключается в нанесении на исследуемую поверхность царапины заданной длины (200 мкм) под действием линейно возрастающей нагрузки (от 0 до 4 г), последующем определении глубины и ширины профиля. Прочность образцов рассчитывалась по формулам:

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s \sin \alpha} \text{ и } A_s = \frac{a^2}{2\sqrt{3} \sin \alpha} + \frac{ah}{\cos \alpha},$$

где F_n – нормальная нагрузка, A_s – проекционная площадь отпечатка от пирамиды Берковича, a и h – ширина и глубина профиля царапины на дистанции 200 мкм соответственно, α – угол, для пирамиды Берковича равный 65° .

Трещиностойкость спеченных образцов определяли с помощью метода отпечатков, её значения рассчитывали по формулам:

$$K_{Ic} = 0.16HV \cdot a^{1/2} \cdot (c/a)^{-3/2} [\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}],$$

$$HV = 1.8544 \cdot (p/d^2)$$

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики спеченных образцов, определенных по методике наноиндентирования.

Таблица 1 - Физико-механические свойства спеченной керамики

Состав, мас. %	E_{IT} , МПа	H_{IT} , МПа	σ , МПа	K_{Ic} , МПа*м ^{1/2}
99,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO	422217	19870	18	6,1
98,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 1% TiO ₂	400126	23286	272	3,4
97,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 2% TiO ₂	440494	22658	78	-
95,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 4% TiO ₂	178267	9913	38	3,7
94,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 5% SiO ₂	427240	17495	480	7,9
89,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 10% SiO ₂	292791	19992	48	-

Заключение

1. Добавление 5 % по массе SiO₂ к Al₂O₃ реализует механизм жидкофазного спекания керамики, что приводит к повышению ее плотности и прочности до 480 МПа (табличное значение прочности при изгибе высокоплотной корундовой керамики не превышает 400 МПа). Данный состав соответствует муллит-корундовой керамике.
2. Наименьшую пористость имели спеченные образцы составов 98,6% Al₂O₃ – 0,4% MgO – 1% TiO₂ и 94,6 % Al₂O₃ – 0,4% MgO – 5% SiO₂. Эти данные коррелируют с результатами определения плотности, твердости и прочности спеченных образцов.
3. Наибольшую трещиностойкость имел образец №5, со составами: 94,6 % Al₂O₃ – 0,4% MgO – 5% SiO₂.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 75 с.
2. Briegleb F., Geuther A. – Libigs Ann., 1962, 123, 238.
3. Смирнов А.И. Конструкционная керамика // Итоги науки и техники ВИНТИ. Сер. Порошковая металлургия. – 1990. – С. 64–106.
4. Лукин Е.С., Макаров Н.А. и др. Прочная и особопрочная керамика на основе оксида алюминия и частично стабилизированного диоксида циркония // Стекло и керамика. – 2003. – № 9. – С. 32–34.